

面向自主可控人才培养的计算机组成原理课程改革^{*}

花忠云¹ 顾崇林¹ 薛睿² 王鸿鹏¹

1. 哈尔滨工业大学（深圳）计算机科学与技术学院，深圳 518055
2. 哈尔滨工业大学（深圳）实验与创新实践教育中心，深圳 518055

摘要 计算机组成原理是计算机科学与技术专业核心课程，承上启下，对培养学生硬件系统分析与设计能力及后续课程学习至关重要。然而，传统教学以计算机五大部件为主线，内容基于过时的 Intel x86 指令集，难以反映行业前沿，导致学生学习兴趣不足、知识与产业脱节。探索新的计算机组成原理教学方案，强调创新，紧密围绕自主可控核心技术人才培养的国家战略需求，教授基于 RISC-V 开源指令集的 CPU 设计思想和流水线技术，提升教学课程的前沿性，培养自主可控性人才。同时，本课程改革开发一整套基于 RISC-V 的计算机组成原理实验体系，以确保技术的自主可控性，并最终建立自己的实验平台。更进一步的，本课程改革将思政元素融入教学，培养学生的爱国精神、人文精神和创新精神。

关键字 计算机组成原理，课程改革，人才培养，思政元素

Curriculum Reform of Computer Organization Oriented Toward Cultivating Indigenous and Controllable Talents

Hua Zhongyun¹ Gu Chonglin¹ Xue Rui² Wang Hongpeng¹

1. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology (Shenzhen) Shenzhen, 518055
2. Experimental and Innovative Practice Education Center, Harbin Institute of Technology (Shenzhen) Shenzhen, 518055

Abstract—Computer Organization is a core course in Computer Science and Technology, pivotal for bridging foundational and advanced studies, and essential for developing students' hardware system analysis and design skills. However, traditional teaching, centered on the five major components and outdated Intel x86 instruction sets, struggles to reflect industry advancements, leading to low student engagement and a disconnect between knowledge and industry needs. This paper proposes an innovative teaching reform for Computer Organization, aligned with the national strategy for cultivating talent in autonomous and controllable core technologies. It introduces CPU design concepts and pipeline techniques based on the open-source RISC-V instruction set to enhance the curriculum's cutting-edge relevance and foster self-reliant talent. Additionally, a comprehensive RISC-V-based experimental system is developed to ensure technological autonomy and establish an independent experimental platform. Furthermore, ideological and political elements are integrated into teaching to cultivate students' patriotism, humanistic values, and innovative spirit.

Keywords—Computer Organization, Curriculum Reform, Talent Cultivation, Ideological and Political Elements

1 引言

计算机技术是网络安全技术的核心底层技术，发展计算机核心技术对于保障我国网络安全和实现国家安全具有重要意义。习近平总书记在中共中央政治局第三十六次会议中提出了“加快推进国产自主可控替

代计划，构建安全可控的信息技术体系”的重要指示。在 2021 年全国两会中，将“坚持创新驱动发展”列为“十四五”时期的主要目标之一，并强调了打好关键核心技术攻坚战，特别是打好“高端芯片”等“卡脖子”技术核心攻坚战的重要性。目前，我国计算机技术的发展面临着高端人才短缺的问题。与此同时，在计算机专业本科生的知识体系中，计算机组成原理扮演着承上启下的关键角色。因此，开展面向自主可控人才培养的计算机组成原理教学对于培养计算机技术相关的后备人才、实现计算机底层技术（如高端芯片）的国产化和产业化具有重要意义。

^{*}基金资助：本文得到广东省教育科学规划项目（高等教育专项）（2023GXJK679），广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目，需求与能力双驱动的人工智能领域杰出人才培养模式改革与创新项目资助}

^{**}通信作者：花忠云 huazhongyun@hit.edu.cn

目前国内大多数高校的计算机组成原理教学仍以计算机的五大部件（运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备）为主线，介绍每个功能部件的基本工作原理以及在整机中的作用。然而，电子信息技术的不断变革加速了计算机指令集的发展和计算机硬件的迭代。过去以 Intel x86 指令集为主的课程内容已无法跟上目前行业最新的设计思想。这些教学内容可能会影响学生的学习积极性，并导致学生掌握的知识与产业界的最新趋势脱节。目前主流的指令架构如 Intel x86、ARM、MIPS 等都是国外公司发行的，并且不开源。所有基于这些指令架构的芯片都需要获得授权许可才能生产。此外，由于计算机组成原理的很多知识较为抽象，例如芯片内部的运作，数据的表示和存储方式，控制器如何获取、解码和执行指令，地址信息和数据信息如何在数据通路上流动等。这些抽象的知识内容如果仅依靠课堂讲解的话会非常枯燥，从而使大多数学生难以掌握课程内容。

本课程基于以上背景探索新的计算机组成原理教学方案，紧密围绕自主可控核心技术人才培养的国家战略需求，教授基于 RISC-V 开源指令集的 CPU 设计思想和流水线技术，提升教学课程的前沿性，培养自主可控性人才。此外，本课程开发一整套基于 RISC-V 的计算机组成原理实验体系，以确保技术的自主可控性，并最终建立自己的实验平台。同时，本课程将思政元素融入教学，培养学生的爱国精神、人文精神和创新精神。

2 近年研究工作

近年来，国内高校对计算机组成原理的教学进行了持续的改革和探索。陆游游针对计算机组成原理课程在理论教学、实验实践以及与其他课程衔接方面的不足，从课程内容更新、理论与实践同步、课程之间衔接等方面具体介绍建设的实施情况[1]。兰勇等在教学活动中通过精心运用多媒体工具、设计微课视频、引进翻转课堂等教学模式进行教学方法创新[2]。韩姗姗等提出了线上与线下、理论与实践相结合的教学设计，并从教学目标的优化、教学资源建设和教学评价的改革等方面进行具体应用[3]。在实验教学中，费翔等使用 FPGA 技术构建了实验模型机，在课程实践环节中形象直观地验证原理知识，提高学生的计算机系统设计能力[4]。陈志广等基于 RISC-V 指令集，循序渐进地设计了单周期处理器、三级流水线处理器、五级流水线处理器，并逐步实现中断处理、总线仲裁等实验教学[5]。此外，周丽华等人提出在课程中进行思政教学，根据课程知识点挖掘思政元素，介绍预期的成效、课程思政实施的实践及特色，最后指出课程思政持续改进的方向[6]。张剑妹等人针对信创产业发展对计算机专业人才的能力需求，分析计算机组成原理课程教

学存在的问题，进行课程教学改革[7]。李明等人针对计算机组成原理课程教学中出现的难点问题，提出采用网络案例教学法提高课程的教学质[8]。陈秋莲等人以现代信息技术为载体，设计线上线下混合式教学方案，充分挖掘课程思政元素，使知识传授、能力培养与价值塑造相融合[9]。边金鸾等提出“知识+能力+素养+信念”四维融合的课程教学模式，通过将思想政治教育元素有机融入计算机组成与设计等专业课程，实现了专业教育与价值观培养的协同发展[10]。

虽然目前已经有不少工作对计算机组成原理的教学改革进行了探索，但是这些工作大多集中在如何对传统的教学方式改革，使学生能更容易学懂，理论知识体系大多还是以传统的 Intel x86 指令集架构为核心，没有从宏观层面对整门课程的理论知识使用最新的指令集架构进行重新梳理。此外，目前对该课程思政教育方面的改革大多局限在如何调动学生学习的积极性，没有从“中国高端芯片产业被卡脖子”这一时代大背景出发进行思政教育融入。国内研究普遍更新内容或采用新技术手段（如引入 FPGA、微课、翻转课堂等）[11]，但多集中于局部改进。针对目前计算机组成原理课程教学的现状，本文提出面向自主可控人才培养的计算机组成原理教学改革方案，对现有课程中 CPU 这一核心知识体系采用最新开源的 RISC-V 指令集架构进行教学设计。本方案的优势在于内容与方法双轮驱动，内容上采用最前沿的 RISC-V 指令集并浓缩传统理论，手段上系统融入线上线下混合教学和自主实验平台，同时紧扣国家战略展开思政教育。这种全方位集成的改革方案，为我国计算机底层技术产业的发展培养切实可用的高端人才[12]。

3 课程改革实施思路与方案

本课程改革的总体框架和基本内容如图 1 所示，主要包含四部分的研究内容：（1）基于实际问题 and 应用驱动的理论教学；（2）提供课前、课中、课后全方位支持的教学手段设计；（3）具有自主可控性的实验平台开发；（4）融入思政教育元素的高端人才培养。上述四个模块相互呼应，共同促进学生知识、能力与价值观的协同提升。

3.1 基于实际问题 and 应用驱动的理论教学

（1）基于 RISC-V 开源指令架构的 CPU 教学

RISC 架构的提出是计算机体系结构发展史上的一个里程碑。RISC 架构指令集的设计主要特点是指令数量少而精简，每条指令字长相等且结构简单。RISC 架构的指令集设计旨在通过简化指令集架构来提高 CPU 执行指令的速度和效率。由于指令数量较少，每条指令执行所需的电路设计也相对简单，因此 RISC 架构的 CPU 功耗较低。

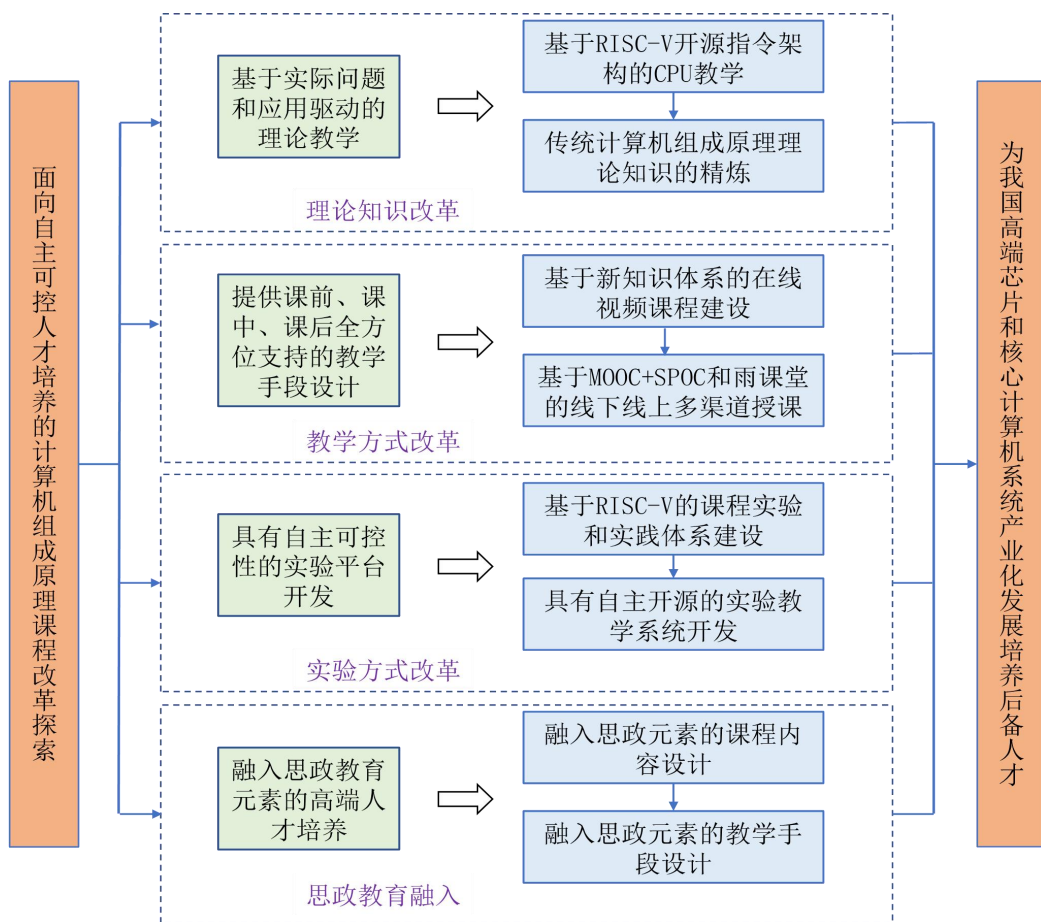


图 1 总体研究框架图

RISC-V 是基于 RISC 架构的最新指令集, 其设计充分吸收了之前 RISC 指令集的优点并修正了其缺陷。最重要的是, RISC-V 是完全开源的, 不存在被制裁的潜在风险。为推动 RISC-V 的广泛应用, 国内 170 多家芯片设计相关企业和科研机构成立了中国 RISC-V 产业联盟, 该联盟旨在利用联盟企业的资源和需求, 推动 RISC-V 体系架构、软硬件设计和新兴应用等方面的发展, 并进行相关人才培养、培训和产学研对接。RISC-V 指令架构的后发优势和开源特性使其成为我国实现芯片设计自主可控的重要方向。因此, 本课程使用 RISC-V 架构对计算机组成原理核心 CPU 教学内容进行改革。

(2) 传统计算机组成原理理论知识的精炼

除了核心的 CPU 处理器, 传统的计算机部件还包括存储器、输入设备和输出设备。为了腾出更多学时给 CPU 处理器的教学, 本课程对其他计算机部件的知识进行精简。在总共 52 学时的理论教学中, 系统概述部分占 2 学时, CPU 教学占 34 学时, 其他知识内容(包括存储器、输入输出和系统总线)压缩到 16 学时。在压缩的过程中, 尽量保留各部件的工作原理及其之间

的联系内容。对于存储器部分, 着重讲授存储器的工作原理、存储器的校验以及 Cache-主存和主存-辅存这两个层次结构的原理。而对于存储器的硬件部分, 考虑到存储器硬件部分的快速发展以及知识的时效性, 对其内容进行压缩, 并鼓励学生在课后通过查阅相关资料来自行学习。对于一些过去非常重要, 但随着硬件的发展重要性降低的知识点, 本课程将进行简化。例如存储器的扩展, 在当前技术的发展下, 单个存储芯片的容量越来越大, 导致需要进行存储器扩展的情况越来越少, 因此可以简化这部分知识。I/O 部分则明确目标为“理解程序查询、中断和 DMA 三种数据传输方式”, 集中讲解这三个关键点。通过对教学目标的聚焦与学习效果评估(小测验、上机实践), 确保压缩后的内容教学依然具备完整的知识体系和清晰的学习导向。对于其他涉及到硬件部分的知识点, 本课程也将进行简化。

总体而言, 本课程对存储器和输入输出部分的理论知识进行压缩, 并结合 MOOC 等在线课程资源, 简化那些概念性强且迭代周期短的硬件知识。这样能够腾出更多的学时, 用于讲授基于 RISC-V 架构的 CPU 原理及其工作方式。

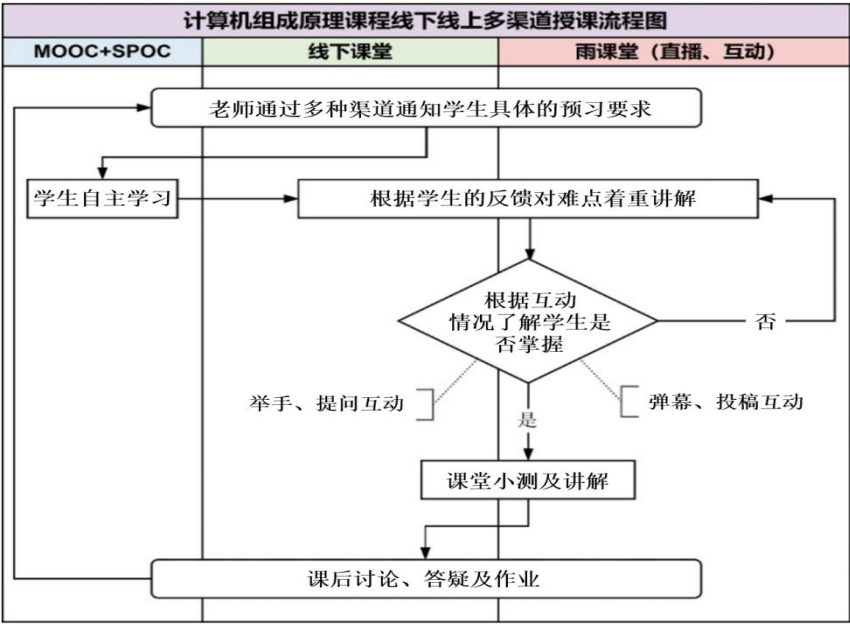


图 2 基于 MOOC+SPOC 和雨课堂的线下线上多渠道授课方式

3.2 面向课前、课中、课后全方位支持的教学手段

(1) 基于新知识体系的在线视频课程建设

在线课程是一种通过互联网平台向社会开放的教学形式，其是一种非中心化的教学思维方式，利用视频、音频、文本、PPT、交互、虚拟等多种方式，以超越时间、距离和网络的特点，系统地呈现课程内容，强调以用户为中心、学生为本的知识分享和交流。同时，在线课程建设的目标是优化教学资源共享，建立随时学习的课程平台。目前，计算机组成原理的在线课程大多基于传统的知识体系，与改革后的课程知识体系不匹配。为了丰富计算机组成原理的教学手段，本课程基于新的知识体系，开发在线视频课程。

计算机组成原理在线视频课程建设的改革创新主要体现在以下几个方面。首先，教学内容的改革创新。本课程将建立以 RISC-V 指令架构为核心的知识体系，使课程内容紧跟计算机底层技术的前沿，保持教学内容的新颖性。其次，教学方式创新。本课程将运用 PPT、视频、动漫、文本、模拟仿真等传统媒体和新兴媒体，多角度地呈现课程的知识要点，使抽象的知识具体化，使枯燥的内容变得生动有趣，激发学生的学习兴趣。最后，面向对象的开放性。本课程内容不仅面向专业学生，也可以吸引外专业学生甚至其他专业的技术人员。因此，本课程对知识体系进行分层，以确保不同背景的学习者都能受益于该课程。

3.3 具有自主可控性的实验平台开发

(1) 基于 RISC-V 的课程实验和实践体系建设

基于以上改革创新，所设计的在线视频课程可以丰富计算机组成原理的教学手段，同时通过互联网平台实现教学资源的优化共享。

(2) 基于 MOOC+SPOC 和雨课堂的线下线上多渠道授课

为了实现“以学生为中心，为学生提供课前、课中、课后的全方位支持”目标，对计算机组成原理的理论课程讲授和实验课程指导，本课程采用基于 MOOC+SPOC 和雨课堂的线下线上多渠道授课方式，具体流程如图2所示。首先，MOOC+SPOC 平台可以为学生提供课前、课后的教学支持。在课前，老师可以通过雨课堂提前发布每次课前需要预习的 MOOC 内容和要求，督促学生课前预习，并通过 MOOC 中的测验了解学生的预习情况；学生可以充分利用 MOOC 平台上的在线课程资源，在课前、课后进行自主学习。在线下课堂中，师生可以面对面进行实时的互动交流，这种直接的互动有助于提高学生对知识的理解和应用能力。学生可以通过弹幕或投稿的方式与老师和同学实时互动，而且老师还可以利用雨课堂的随堂测验功能，实时了解学生的掌握情况。最后，雨课堂可以实现教学过程留痕，方便学生在课后回放，也方便老师分析教学过程的各项数据，及时改进教学方式。

综上所述，基于 MOOC+SPOC 和雨课堂的线下线上多渠道授课方式可以为学生提供课前、课中、课后的全方位支持，从而实现学生学习效果的最大化。

在将 RISC-V 指令架构融入计算机组成原理理论教学后，需要针对性地重新设计实验内容。当前，国内外高校对计算机组成原理实验进行了广泛的探索，

呈现出一个明显的趋势：计算机组成原理实验逐渐从仅限于处理器设计向综合方向发展[13]。越来越多的高校倾向于将组成原理、操作系统、编译原理和体系结构的实践环节相互衔接，以培养学生的整体系统设计能力[14]。由于本学院的教学大纲中还要求学生在后续的计算机设计与实践课程中设计简单的CPU，因此，在该课程的12个实验学时中，主要侧重于展示计算机各个部件的功能联系，并强调与后续课程的衔接。为此，本课程设计基于RISC-V的课程实验和实践体系，具体内容如图3所示。

具体而言，该课程实验和实践体系设计四个实验。

① 从C语言到机器码：通过这个实验，学生将学习如何将高级语言编写的代码转化为机器码。

② RISC-V汇编语言编程：这个实验让学生掌握RISC-V汇编语言的基本知识，并通过编写汇编程序来实现一些简单的功能，加深他们对计算机体系结构的理解。

③ 浮点数运算器设计：学生学习浮点数运算的基本原理，并设计一个简单的浮点数运算器，加强他们对计算机算术运算的实践能力。

④ AXI-Lite总线接口设计：这个实验引导学生了解AXI-Lite总线接口协议，并设计一个与其兼容的学生能够在实践中应用他们在理论课程中学到的知识，培养他们的系统设计能力。

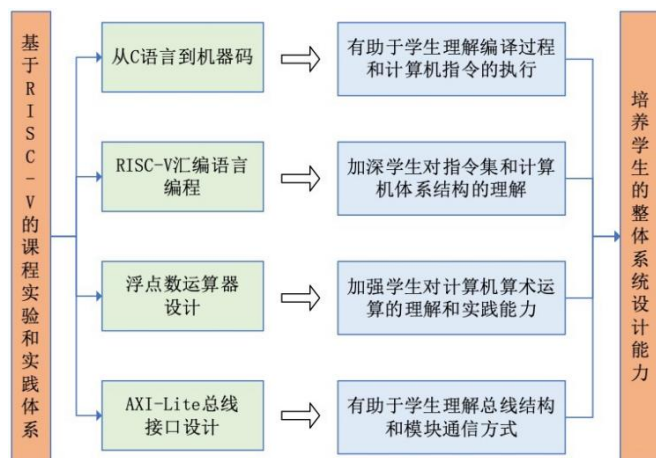


图3 基于RISC-V的课程实验和实践体系

(2) 具有自主开源的实验教学系统

本课程开发一套具有自主开源特性的实验教学系统。该系统旨在为学生提供灵活、便捷的实验环境，并促进他们在实践中掌握计算机组成原理的关键概念和技能。

该系统包括以下特点：

① 自主开源：以开源的方式发布该实验教学系统，使其对学生和老师都具有可定制性和可扩展性，以鼓励学生和广大教育者参与系统的改进和优化，形成一个共同进步的社区。

② 灵活的实验环境：该系统提供一个灵活多样的实验环境，以满足不同实验需求和学习风格。学生可以根据自己的兴趣和学习进度选择合适的实验内容，以加深对计算机组成原理的理解。

③ 实验数据分析与反馈：该系统具备实验数据收集和分析的功能，可以记录学生在实验过程中的操作和结果，并生成详细的实验报告。

④ 协作与交流的平台：该系统提供一个协作与交流的平台，学生可以在其中与老师和同学分享实验心得、解决问题，并参与讨论。这可以促进学生之间的互动和合作，提升他们的团队合作能力和问题解决能力。

本课程所开发的自主开源的实验教学系统，可以在激发学生的学习兴趣和自主学习能力的同时，培养他们的创新精神和实践能力。

3.4 融入思政教育元素的高端人才培养

(1) 融入思政元素的课程内容设计

在教育教学中贯彻思想政治工作，本课程全面梳理知识体系，寻找“计算机组成原理”专业课程与思政教育的结合点，通过线上线下、课内课外的教学改革，让思政教育自然融入专业课堂，将价值观塑造贯穿于知识传授和能力培养之中，引导学生树立正确的世界观、人生观和价值观。中国在计算机技术方面起步相对较晚，但计算机领域的科研人员一直努力进取。评价计算机系统性能的主要指标之一是超级计算机排名，神威太湖之光和天河等国产超级计算机名列前茅。在本课程中，通过让学生们了解中国超级计算机的成就，可以增强学生的民族自豪感，激发他们的爱国主义情怀，让他们感受到祖国的日益强大。另一方面，中国在芯片制造、操作系统设计等方面与先进的计算机技术发展水平存在较大差距。因此，本课程引入相关课程内容鼓励学生正视这些差距，为中国计算机行业新兴技术的发展做出贡献。在教学过程中，本课程引导学生思考中国取得这些成就的原因，加深本科生对中国特色社会主义道路、理论、制度和文化的认同。

在梳理课程知识体系的基础上，本课程明确提出各教学模块的思政目标，并为每个单元设计具体案例。例如，在讲授计算机处理器时，介绍我国超级计算机的发展历程，突出自主创新的成果；在存储器和I/O章节，结合国际技术竞争实例（如芯片国产化差距）开展讨论，以增强学生对国产化的认识。通过案例教

学和课堂讨论等方式,将思政教育与专业知识紧密结合,进一步激发学生的爱国主义精神和家国情怀。

(2) 融入思政元素的教学手段设计

计算机组成原理课程作为一门理论性较强的专业必修课,可以融入思政育人的教学内容,而教师的引导起着关键作用[13]。本课程教师通过设计引导方式和引导类型,激发学生的积极参与。学生可以通过查阅资料、问题思考和调研讨论等方式,进行自我体验和感悟。在课堂教学中,本课程采用教师讲授为主、课堂讨论为辅的方式。教学资料采用文字、图片、教学微视频等多种形式,同时也鼓励学生查阅资料,丰富教学方法和手段。

在思政教育的教学内容中,本课程针对具体题目设计互动性环节,例如问答、调研、数字故事、小规模研讨等。这样的设计可以提升学生对题目的参与度和主动性,增强学生的体验感和行为锻炼,使学生能够在情感上与思政主题形成共鸣。通过设置与思政相关的讨论主题,如“国产芯片发展现状”,进一步激发学生的主动参与和价值思考。除此之外,发挥校企资源优势,积极开展相关企业的合作,促进学生企业实践能力学习[15]。

(3) 基于技术伦理的课程内容重构

除此之外,本课程借鉴欧盟Stilgoe提出的RI核心框架(预测-反思-包容-响应)[16],结合中国工程伦理研究前沿,打造“四维一体”人才培养模式:

① 预测:要求学生拆解 RISC-V 指令集生态中的地缘政治风险(如美国国会拟限制中国参与基金会决策),绘制技术依赖风险拓扑图。

② 反思:对 ARM 架构 RISC-V 架构的芯片断供应对策略,撰写《指令集选择的技术主权成本分析报告》,揭示“短周期性能优势”与“长周期自主可控”的辩证关系。

③ 包容:组织“开源协议民主化”辩论会,邀请法务专家,技术普惠对象代表参与,辩论焦点从“协议条款合理性”延伸到“如何让山区学生用上国产开发板”。

④ 响应(Responsiveness):要求学生向 RISC-V 国际基金会提交改进提案,将“爱国”转化为可验证的技术行为。

4 课程教学改革成效

为了检验本文中计算机组成原理教学课程改革的效果,作者在 2024 年春季学期的计算机组成原理课程教学中实践了本文的教学改革方法,并在教学结束后分发了关于教学改革成效的调查问卷,最终我们收到

了 90 份调查问卷,并根据问卷内容整理成图 4 进行展示。

图 4 和图 5 分别展示了 RISC-V 教学改革以及学习内容成效的调查结果。从 RISC-V 教学改革的调研结果来看,86.67% 的学生认为该教学改革有效激发了学习兴趣,且超过 80% 的学生通过该课程掌握了至少三个方面的知识点,这充分说明改革在教学内容与授课形式上均得到了广泛认可。

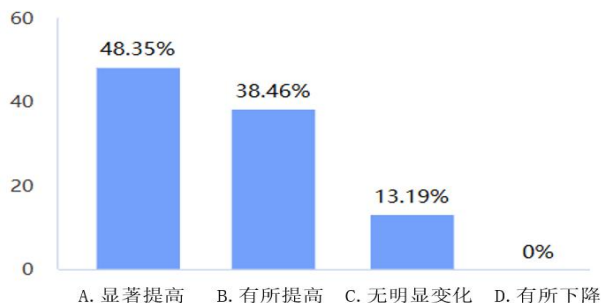


图 4 RISC-V 的教学改革成效调查

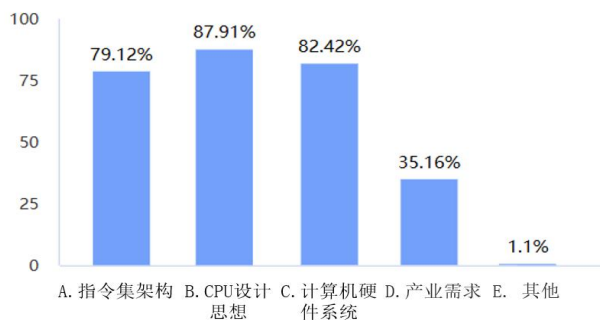


图 5 基于 RISC-V 教学的学生知识掌握情况调查

图 6 呈现了雨课堂线上与线下混合授课效果的调研情况。对于雨课堂线上线下混合授课效果的调研结果显示,72.53% 的学生认为其对学习具有积极促进作用。研究表明基于雨课堂的新教学模式被学生所广泛认可和接受。

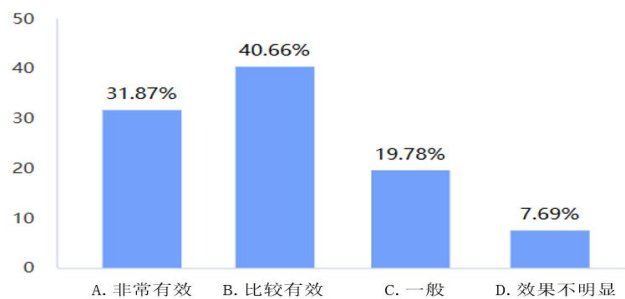


图 6 雨课堂线上线下授课的教学改革成效调查

图 7 和图 8 则分别反映了实验平台在教学改革和实际作用方面的调查结果。

在实验平台方面,90.1% 的学生表示实验课程有助

于更深入地理解计算机组成原理的理论知识,其中超过一半的学生认为新的实验平台在实验内容设置、系统操作流畅性及数据反馈及时性等至少三个方面提供了更佳的使用体验。这一研究证明了实验平台能有效提高教学效果和学生的学习体验。

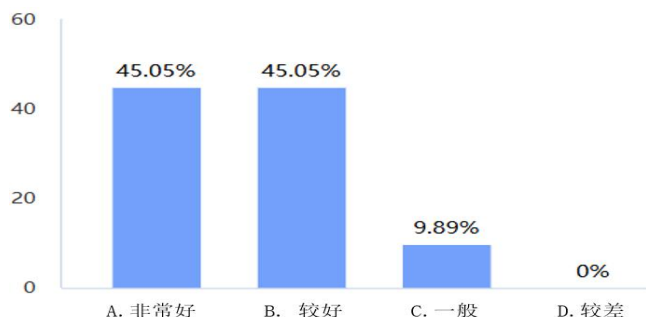


图7 实验平台的教学改革成效调查

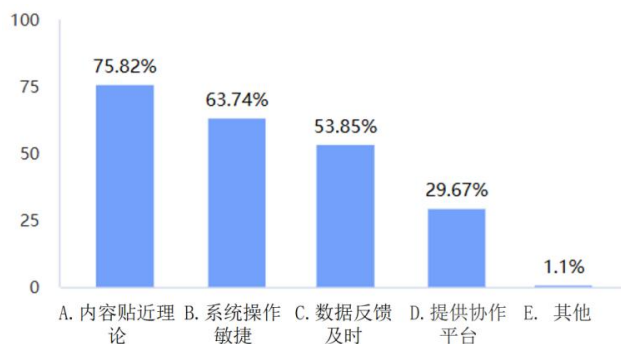


图8 实验平台对学习支持度调查

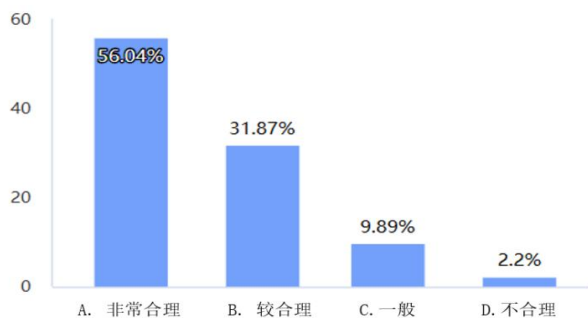


图9 思政内容与计算机知识融合程度调查

图9展示了课程中思政内容与计算机专业知识融合合理度的调查情况。针对课程中思政内容的融入,56.67%的学生认为其与计算机专业知识的结合较为合理。总体来看,在所有调研结果中,平均仅有不超过2%的学生对教学改革方案持负面评价,表明整体教学改革取得了良好的效果并获得了学生的广泛认可。

总的来说,本次课程的教学改革,通过深入挖掘RISC-V教学,雨课堂线上线下授课,实验平台以及计算机组成原理与思政内容结合,有效实现了预定的教

学改革目标。

5 结束语

本文通过以RISC-V架构为核心的计算机组成原理课程改革,旨在构建面向自主可控人才培养的教学体系,同时结合开源实验平台开发与思政教育元素的融入,激发学生的创新精神与实践能力。这一改革不仅有助于提升学生对计算机底层技术的理解与掌握,还通过思政教育引导树立正确的价值观与民族自信心,为我国计算机技术的自主创新与产业化发展培养高素质后备人才。未来,我们期待这一教学模式能在更多高校推广应用,为实现关键核心技术的突破与国家科技自立自强贡献力量。

参考文献

- [1] 陆游游,陈康,李山山,等. 计算机组成原理课程建设[J]. 计算机教育,2024(5):20-24.
- [2] 兰勇,张朝阳,王伟,等. 计算机组成原理教学改革探索与实践[J]. 计算机教育,2019(1):13-15,20.
- [3] 韩姗姗,沈瑛,范玉雷,等. 计算机组成原理课程教学设计与案例实践[J]. 计算机教育,2022(5):89-93,98.
- [4] 费翔,高天迎,张运杰. FPGA实现计算机组成原理的实验模型机[J]. 科学技术创新,2021(31):101-103.
- [5] 陈志广,刘皓铨,卢宇彤. 基于RISC-V的计算机组成原理实验教学改革与实践[J]. 计算机教育,2023(2):128-132.
- [6] 周丽华,周俊华,肖清. 计算机组成原理课程思政教学的探索与实践[J]. 计算机教育,2022(2):37-40.
- [7] 张剑妹,何苑. 信创背景下的计算机组成原理教学改革[J]. 计算机教育,2025(1):81-85.
- [8] 李明,高晓清,曾西洋. 基于网络案例教学法的计算机组成原理教学探索[J]. 计算机教育,2025(5):184-188.
- [9] 陈秋莲,陈芷,等. 计算机组成原理课程思政混合式教学探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(4):38-41.
- [10] 边金鸾,蔡朝晖,等. 融合“知识+能力+素养+信念”的课程思政教育模式探究[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(4):105-109.
- [11] 黄毅然,杨锋,等. 融合课程思政的信息内容安全翻转课堂教学研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2023,11(3):84-87.
- [12] 季伟东,杨建柏,等. 新质生产力视域下省属高校大数据专业“四维一体”人才培养模式探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(6):59-63.
- [13] 金强国,范惺杰,等. 思政融入软件工程教育:培养新时代技术人才[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(6): 30-36.
- [14] 吕品,于文兵. 产教融合培养应用型大数据人才系统性思维能力实践研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(2):165-169.
- [15] 郭忠文,蒋若冰. “产、教、学、研”四位一体研究生产教融合培养模式研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2023,11(2):18-22.
- [16] Jack Stilgoe, Richard Owen, Phil Macnaghten, Developing a framework for responsible innovation, Research Policy, Volume 42, Issue 9, 2013, Pages 1568-1580, ISSN 0048-7333